

Beschreibung

Nichtflüchtiges Halbleiterspeicherelement sowie zugehöriges
Herstellungs- und Ansteuerverfahren

5

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein nichtflüchtiges Halbleiterspeicherelement sowie ein zugehöriges Herstellungs- und Ansteuerverfahren und insbesondere auf eine nichtflüchtige Dual-Bit Split-Gate-Speicherzelle, bei der ein Einschreiben von Informationen mittels sourceseitiger Ladungsträgerinjektion erfolgt.

Nichtflüchtige Halbleiterspeicher, wie sie beispielsweise als FLASH-Speicher, EPROM, EEPROM, FPGAs und dergleichen bekannt sind, setzen sich in vielen Bereichen wie z.B. der Datenverarbeitungstechnik, der Telekommunikationstechnik, der Unterhaltungselektronik und der Sicherheitstechnik immer mehr durch, da sie auf kleinstem Raum über eine lange Zeit und ohne Verwendung einer Spannungsversorgung Daten abspeichern können.

Hierbei gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen Speicherelement-Typen, wobei sich die vorliegende Erfindung insbesondere auf eine sogenannte Split-Gate-Speicherzelle bezieht.

25

Figur 1 zeigt eine vereinfachte Schnittansicht eines derartigen herkömmlichen Split-Gate-Speicherelements.

Gemäß Figur 1 ist ein in einem Halbleitersubstrat 1 zwischen einem Sourcegebiet S und einem Draingebiet D liegendes Kanalgebiet in einen ersten Teilabschnitt I und einen zweiten Teilabschnitt II aufgeteilt, wobei im ersten Teilabschnitt eine Steuerschicht 5 unmittelbar über dem Kanalgebiet ausgebildet und von diesem durch eine erste Isolierschicht 2A getrennt ist, während es in einem zweiten Teilabschnitt II nur mittelbar über dem Kanalgebiet bzw. Halbleitersubstrat 1 liegt. Zur Realisierung der erwünschten ladungsspeichernden

30

35

Eigenschaften ist im zweiten Teilabschnitt II vielmehr eine Ladungsspeicherschicht 3 über dem Kanalgebiet bzw. Halbleitersubstrat 1 ausgebildet und von diesem durch eine zweite Isolierschicht bzw. Tunnelschicht 2B isoliert.

5

Zur Realisierung einer sogenannten sourceseitigen Ladungsträgerinjektion (SSI, Source Side Injection) besitzt das Split-Gate-Speicherelement gemäß Figur 1 ferner eine Programmierschicht 6, die im Wesentlichen an der Oberfläche der Ladungsspeicherschicht 3 ausgebildet und von dieser durch eine dritte Isolierschicht 4 getrennt bzw. isoliert ist.

Zur Programmierung bzw. zum Einbringen von Ladungsträgern in die Ladungsspeicherschicht 3 wird eine an der Programmierschicht 6 angeschlossene Programmier Elektrode PG, eine an der Steuerschicht 5 angeschlossene Steuerelektrode CG, eine an dem Sourcegebiet S angeschlossene Sourceleitung SL und eine an dem Draingebiet D angeschlossene Bitleitung BL derart beschaltet, dass sich am Übergang zwischen dem ersten und zweiten Teilabschnitt I und II ein derart hohes elektrisches Feld im Kanalbereich einstellt, dass vom Sourcegebiet S kommende Elektronen auf Grund des vorliegenden hohen Potentialgefälles derart beschleunigt werden, dass sie in die Ladungsspeicherschicht injiziert werden. Eine derartige Programmierung unter SSI-Bedingungen (Source Side Injection) verlängert eine Lebensdauer von Speicherelementen auf Grund der verringerten Beanspruchung der Isolierschichten im Vergleich zu den exzessiven elektrischen Feldern, die für eine drainseitige Ladungsträgerinjektion erforderlich sind. Darüber hinaus ist eine Programmierung unter SSI-Bedingung wesentlich effizienter als eine drainseitige Ladungsträgerinjektion, wodurch insbesondere die Zeitdauer für eine jeweilige Programmierung verringert werden oder bei gleicher Programmierzeit der Kanalstrom und damit der Leistungsverbrauch reduziert werden kann. Insbesondere können jedoch bei Speicherelementen mit sourceseitiger Ladungsträgerinjektion die Betriebsspannungen wesentlich verringert werden.

Nachteilig bei derartigen Speicherelementen mit sourceseitiger Ladungsträgerinjektion ist jedoch der erheblich höhere Konstruktionsaufwand, der sich insbesondere aus den drei getrennten Steuerschichten - Ladungsspeicherschicht 3, Programmierschicht 6 und Steuerschicht 5 - ergibt. Insbesondere auf Grund der zusätzlichen Programmierschicht 6 und einer fehlenden Selbstjustierung sind hohe Integrationsdichten für derartige Split-Gate-Speicherelemente nur bedingt zu realisieren.

Figur 2 zeigt eine vereinfachte Schnittansicht eines weiteren nichtflüchtigen Speicherelements, wobei im Wesentlichen eine sogenannte CHE-Ladungsträgerinjektion drainseitig mittels heißer Ladungsträger aus dem Kanal (CHE, Channel Hot Electron) erfolgt.

Gemäß Figur 2 besteht ein derartiges nichtflüchtiges Speicherelement aus einem Halbleitersubstrat 1, in dem ein Sourcegebiet S, ein Draingebiet D und ein dazwischen liegendes Kanalgebiet ausgebildet sind, wobei eine Ladungsspeicherschicht 3 durch eine erste Isolierschicht 2 vom Kanalgebiet getrennt auf diesem ausgebildet ist und wiederum zum Speichern von Ladungsträgern geeignet ist. An der Oberfläche der Ladungsspeicherschicht 3 befindet sich wiederum eine Steuerschicht 5, die durch eine weitere Isolierschicht 4 von der Ladungsspeicherschicht 3 getrennt ist.

Im Gegensatz zur vorstehend beschriebenen Split-Gate-Speicherzelle mit sourceseitiger Ladungsträgerinjektion benötigt diese nichtflüchtige Speicherzelle lediglich drei Kontaktanschlüsse nämlich eine Steuerelektrode CG bzw. Wortleitung WL zum Anschließen der Steuerschicht 5 sowie eine Sourceleitung SL zum Anschließen des Sourcegebiets S und eine Bitleitung BL zum Anschließen des Draingebiets. Der Aufbau und somit auch die Herstellung einer derartigen herkömmlichen Speicherzelle ist demzufolge wesentlich vereinfacht, wobei insbesondere auf Grund eines fehlenden Kontaktanschlusses für

eine Programmierschicht eine erhöhte Integrationsdichte realisiert werden kann.

Nachteilig bei einer derartigen nichtflüchtigen Speicherzelle ist jedoch der Einsatz von notwendigen und hohen Betriebsspannungen um eine Kanalinjektion mittels heißer Ladungsträger CHE (Channel Hot Electron) zu realisieren. Diese hohen Drain- und Gate-Spannungen resultieren insbesondere aus dem Bestreben die Programmierzeit zu verkürzen, weshalb im Wesentlichen in der Nähe der Durchbruchsspannungen programmiert wird. Derartige Hochspannungen zur Realisierung einer Ladungsträgerinjektion unter CHE-Bedingungen benötigen folglich zusätzliche Spannungsversorgungsschaltungen und eine außerordentlich hohe Beanspruchung der vorliegenden Isolierschichten.

Figur 3 zeigt eine vereinfachte Schnittansicht eines weiteren herkömmlichen nichtflüchtigen Halbleiterspeicherelements zum Abspeichern von zwei Bits, wie sie beispielsweise aus der Druckschrift US 6,366,500 bekannt ist.

Gemäß Figur 3 ist wiederum in einem Halbleitersubstrat 1 ein Sourcegebiet S und ein Draingebiet D mit einem dazwischen liegenden Kanalgebiet ausgebildet, welches einen ersten Teilabschnitt I und zwei zweite Teilabschnitte IIA und IIB sourceseitig und drainseitig aufweist. An der Oberfläche des Halbleitersubstrats 1 bzw. des Kanalgebiets befindet sich wiederum eine erste Isolierschicht als Gatedielektrikum bzw. als Tunneldielektrikum, wobei im ersten Teilabschnitt I an der Oberfläche der ersten Isolierschicht 2 eine Steuerschicht 5 ausgebildet und in den beiden zweiten Teilabschnitten IIA und IIB des Kanalgebiets jeweils eine drainseitige Ladungsspeicherschicht 3A und eine sourceseitige Ladungsspeicherschicht 3B ausgebildet ist, welche als elektrisch leitende Floating Gates dotiertes Polysilizium aufweisen.

Zur Realisierung der vorstehend genannten sourceseitigen Ladungsträgerinjektion bzw. der SSI-Bedingung (Source Side Injection) befinden sich an den Ladungsspeicherschichten 3A und 3B jeweiligen drainseitige und sourceseitige Programmierschichten 6A und 6B, die durch eine weitere Isolierschicht 4A und 4B von der jeweiligen Ladungsspeicherschicht 3A und 3B getrennt bzw. isoliert sind.

Auf diese Weise erhält man zwar eine sogenannte Dual-Bit-Split-Gate-Speicherzelle mit sourceseitiger Ladungsinjektion, wobei jedoch wiederum auf Grund der verwendeten Programmierschichten 6A und 6B eine erhöhte Komplexität und ein erhöhter Platzbedarf vorliegt.

Figur 4 zeigt eine vereinfachte Schnittansicht einer weiteren herkömmlichen Dual-Bit Split-Gate-Speicherzelle wobei gleiche Bezugszeichen wiederum gleiche oder entsprechende Elemente wie in den Figuren 1 bis 3 beschreiben und auf eine wiederholte Beschreibung nachfolgend verzichtet wird.

Gemäß Figur 4 können wiederum zwei Speicherzustände, d.h. zwei Bits, sourceseitig und drainseitig in einer Ladungsspeicherschicht 3A und 3B abgelegt werden, wobei jedoch ein derartiges Speicherelement als Ladungsspeicherschicht eine elektrisch nicht leitende Siliziumnitrid-Schicht verwendet. Wiederum ergeben sich bei einem derartigen Split-Gate-Speicherelement, wie es beispielsweise aus der Druckschrift US 5,408,115 bekannt ist, auf Grund der einstellbaren SSI-Bedingung günstige bzw. niedrige Programmierspannungen, wobei jedoch wiederum eine Komplexität und ein Platzbedarf zur Realisierung eines derartigen Speicherelements sehr hoch sind.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde ein nicht-flüchtiges Halbleiterspeicherelement sowie ein zugehöriges Herstellungs- und Ansteuerverfahren zu schaffen, mit dem bei günstigen Programmierbedingungen ein vereinfachter Aufbau zu realisieren ist.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe hinsichtlich des Split-Gate-Speicherelements durch die Merkmale des Patentanspruchs 1, hinsichtlich des Herstellungsverfahrens durch die Maßnahmen des Patentanspruchs 7 und hinsichtlich des Ansteuerungsverfahrens durch die Maßnahmen der Patentansprüche 16 bis 18 gelöst.

Insbesondere durch die Verwendung einer Verbindungsschicht zum elektrischen Verbinden der Programmierschicht mit dem Sourcegebiet oder Draingebiet erhält man einen wesentlich vereinfachten Aufbau bei wesentlich verringertem Platzbedarf, wobei auf Grund von sourceseitiger Ladungsträgerinjektion weiterhin geringe Betriebsspannungen vorliegen.

Vorzugsweise besteht eine Ladungsspeicherschicht aus einer elektrisch nicht leitenden Isolierschicht wie z.B. einer Si_3N_4 - oder ZrO_2 -Schicht, wodurch man eine weitergehende Erhöhung der Integrationsdichte erhält.

Vorzugsweise ist ein zweiter Teilabschnitt des Kanalgebiets in einen sourceseitigen und drainseitigen Teilabschnitt aufgeteilt, wobei in gleicher Weise auch eine Ladungsspeicherschicht, eine Programmierschicht und eine Verbindungsschicht in eine sourceseitige und drainseitige Ladungsspeicherschicht, Programmierschicht und Verbindungsschicht aufgeteilt ist, wodurch auf einfache Weise eine sogenannte Dual-Bit Split-Gate-Speicherzelle realisiert werden kann.

Hinsichtlich des Verfahrens kann insbesondere durch das Ausbilden einer Schichtenfolge bestehend aus einer zweiten Isolierschicht, einer Ladungsspeicherschicht und einer dritten Isolierschicht an der Oberfläche eines Halbleitersubstrats und einer strukturierten Steuerschicht und einem nachfolgenden Spacer-Verfahren zum Ausbilden und Strukturieren jeweiliger Programmierschichten ein Dual-Bit Split-Gate-Speicher-

element auf besonders einfache und kostengünstige Art und Weise hergestellt werden.

Hinsichtlich des Ansteuerverfahrens werden zur Realisierung
5 eines Einschreibens von Informationen in die Speicherzelle
zum Erzeugen einer SSI-Bedingung (Source Side Injection) entsprechende Schreibspannungen an die sourceseitigen und drain-
seitigen Verbindungsschichten sowie die Steuerschicht ange-
legt, weshalb geringe Schreib-Betriebsspannungen realisiert
10 werden können.

Andererseits können zum Löschen von Informationen derartige
Löschspannungen an die drainseitige Verbindungsschicht sowie
an die Steuerschicht angelegt werden, dass sich eine Lawinen-
15 effekt-Bedingung im Kanal ergibt und wiederum relativ geringe
Betriebsspannungen notwendig sind.

Zum Auslesen einer Information werden entsprechende Lesespan-
nungen an die sourceseitigen und drainseitigen Verbindungs-
20 schichten sowie die Steuerschicht derart angelegt, dass sich
vorzugsweise eine sogenannte rückwärts gerichtete Auslesebe-
dingung (reverse read-out) im Speicherelement ergibt.

Auf diese Weise können trotz des Fehlens von separaten An-
25 schlüssen für die jeweiligen Programmierschichten alle not-
wendigen Ansteuerbedingungen für die erfindungsgemäße Split-
Gate-Speicherzelle geschaffen werden.

In den Unteransprüchen sind weitere vorteilhafte Ausgestal-
30 tungen der Erfindung gekennzeichnet.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbei-
spiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben.

35 Es zeigen:

Figur 1 eine vereinfachte Schnittansicht eines Split-Gate-Speicherelements gemäß dem Stand der Technik;

Figur 2 eine vereinfachte Schnittansicht eines nichtflüchtigen Speicherelements gemäß dem Stand der Technik;

Figur 3 eine vereinfachte Schnittansicht eines Dual-Bit Split-Gate-Speicherelements gemäß dem Stand der Technik;

Figur 4 eine vereinfachte Schnittansicht eines weiteren Dual-Bit Split-Gate-Speicherelements gemäß dem Stand der Technik;

Figur 5 eine vereinfachte Schnittansicht eines erfindungsgemäßen Dual-Bit Split-Gate-Speicherelements; und

Figuren 6A bis 6G vereinfachte Schnittansichten zur Veranschaulichung wesentlicher Verfahrensschritte bei der Herstellung des erfindungsgemäßen Dual-Bit Split-Gate-Speicherelements gemäß Figur 5.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines Dual-Bit Split-Gate-Speicherelements zum Ablegen von zwei Speicherzuständen in einem sourceseitigen und drainseitigen Bereich beschrieben, wobei jedoch grundsätzlich auch entsprechende nichtflüchtige Halbleiterspeicherelemente zum Abspeichern von lediglich einem einzelnen Zustand denkbar sind. Insbesondere sei darauf hingewiesen, dass auf Grund der in den Figuren dargestellten Symmetrie des Speicherelements das Sourcegebiet und das Draingebiet äquivalent zu betrachten sind und folglich auch entsprechend vertauscht werden können. Dies gilt in gleicher Weise insbesondere für die sourceseitigen sowie drainseitigen Schichten, wobei lediglich ein Vertauschen von jeweiligen Anschlusspotentialen notwendig ist.

Figur 5 zeigt eine vereinfachte Schnittansicht eines erfindungsgemäßen Dual-Bit Split-Gate-Speicherelements, wobei

gleiche Bezugszeichen gleiche oder entsprechende Schichten und Elemente wie in den Figuren 1 bis 4 darstellen und auf eine wiederholte Beschreibung nachfolgend verzichtet wird.

5 Gemäß Figur 5 ist in einem Halbleitersubstrat 1, welches vorzugsweise ein Silizium-Halbleitersubstrat aufweist, ein Sourcegebiet S, ein Draingebiet D und ein dazwischen liegendes Kanalgebiet ausgebildet, wobei diese Struktur beispielsweise einer PMOS- oder NMOS-Transistorstruktur entspricht und entsprechende p- und n-Dotierungen aufweist. Zur Realisierung eines sogenannten geteilten Gate-Bereichs bzw. Split-Gates besitzt das Kanalgebiet einen ersten Teilabschnitt I, der im Wesentlichen in einem mittleren Bereich des Kanalgebiets liegt und zwei zweite Teilabschnitte IIA und IIB, die in drainseitigen und sourceseitigen Bereichen des Kanalgebiets an den ersten Teilabschnitt I angrenzen und sich bis zum Sourcegebiet S und Draingebiet D erstrecken.

Gemäß Figur 5 ist auf dem ersten Teilabschnitt I des Kanalgebiets eine elektrisch leitende Steuerschicht 5 ausgebildet, die vom Kanalgebiet durch eine erste Isolierschicht 2A isoliert ist. Die Steuerschicht 5 besteht beispielsweise aus einer hochdotierten Polysiliziumschicht, wobei die erste Isolierschicht 2A ein Gatedielektrikum darstellt und vorzugsweise SiO_2 aufweist. Andererseits befindet sich auf den beiden zweiten Teilabschnitten IIA und IIB des Kanalgebiets jeweils eine drainseitige und sourceseitige Ladungsspeicherschicht 3A und 3B, die vom Kanalgebiet durch eine zweite Isolierschicht 2BA und 2BB getrennt bzw. isoliert ist, wobei die zweite Isolierschicht 2BA und 2BB auch identisch mit der ersten Isolierschicht 2 sein kann.

Die Ladungsspeicherschichten bestehen vorzugsweise aus einer elektrisch nicht leitenden Isolierschicht wie z.B. einer Siliziumnitridschicht, wodurch sich geringe Schichtdicken bei günstigen Ladungshalteeigenschaften bzw. Isolationseigenschaften ergeben. Grundsätzlich können jedoch auch andere

Isolierschichten wie beispielsweise ZrO_2 , HfO_2 oder auch herkömmliche elektrisch leitende Floatinggate-Schichten als Ladungsspeicherschichten 3A und 3B verwendet werden. Im Bereich der drainseitigen und sourceseitigen Ladungsspeicherschichten 3A und 3B sind ferner elektrisch leitende Programmierschichten 6A und 6B drainseitig und sourceseitig ausgebildet, die durch eine dritte Isolierschicht 4A und 4B (z.B. SiO_2) jeweils von der Ladungsspeicherschicht 3A und 3B getrennt bzw. isoliert sind.

Im Unterschied zum Stand der Technik sind diese drainseitigen und sourceseitigen Programmierschichten 6A und 6B nunmehr jedoch nicht getrennt von dem Sourcegebiet S und dem Draingebiet D ansteuerbar, sondern drainseitig und sourceseitig über eine jeweilige Verbindungsschicht 6AA und 6BB elektrisch direkt miteinander verbunden. Auf diese Weise erhält man ein Split-Gate-Speicherelement mit verringerter Anzahl von Anschlusskontakten insbesondere für die herkömmlicherweise verwendeten Programmierelektroden PG, wobei nunmehr lediglich eine Sourceleitung SL zum Anschließen des Sourcegebiets S und der sourceseitigen Programmierschicht 6B an eine Programmierelektrode PG und eine Bitleitung BL zum gleichzeitigen Anschließen des Draingebiets D und der drainseitigen Programmierschicht 6A über die drainseitige Verbindungsschicht 6AA ausgebildet ist. Eine Steuerelektrode CG bzw. Wortleitung WL dient wiederum zum Anschließen der Steuerschicht 5.

Demzufolge kann bei wesentlich verringertem Platzbedarf für das integrierte Speicherelement weiterhin eine sourceseitige Ladungsträgerinjektion realisiert werden, weshalb sich günstige bzw. geringe Betriebsspannungen ergeben.

Als Materialien für die dritte Isolierschichten 4A und 4B werden vorzugsweise Oxidschichten wie z.B. SiO_2 verwendet, wodurch sich für die Schichtenfolge in den beiden zweiten Teilabschnitten IIA und IIB eine sogenannte ONO-Schichten-

folge (Oxid/Nitrid/Oxid) ergibt, die auf Grund ihrer Bandstruktur hervorragende Isoliereigenschaften aufweist.

5 In gleicher Weise wie die Steuerschicht 5 kann auch die Programmierschicht 6A und 6B sowie die zugehörige Verbindungsschicht 6AA und 6BB hochdotiertes Polysilizium aufweisen, wodurch man unter Verwendung von Standardmaterialien eine besonders einfache Prozessierung und damit ein kostengünstiges Speicherelement erhält.

10

10 Zur Isolierung der Steuerschicht 5 sowie der Programmierschichten und Verbindungsschichten wird vorzugsweise eine vierte Isolierschicht 7, die wiederum aus Siliziumdioxid besteht, verwendet, wobei sich diese vierte Isolierschicht als
15 drainseitige und sourceseitige vierte Teil-Isolierschicht 7A und 7B auch in einer oberflächennahen Aussparung von zumindest der Ladungsspeicherschichten 3A und 3B befinden kann, wodurch man eine verbesserte Isolierung dieser Ladungsspeicherschicht insbesondere zu den Verbindungsschichten 6AA und
20 6BB erhält. Diese oberflächennahe Aussparung wurde vor der Abscheidung der Isolierschicht 7 mittels einer isotropen Ätzung erreicht.

25 Insbesondere bei Verwendung von elektrisch isolierenden Ladungsspeicherschichten 3A und 3B können diese Teil-Isolierschichten 7A und 7B jedoch auch entfallen, da die eingebrachten Ladungsträger im Wesentlichen am Übergang der Teilabschnitte I zu IIA oder IIB in der Ladungsspeicherschicht 3A und 3B eingelagert werden und ein Wandern dieser
30 Ladungsträger innerhalb der Ladungsspeicherschicht im Wesentlichen nicht stattfindet.

Demzufolge erhält man SSI-Split-Gate-Speicherelemente die bei vereinfachtem Aufbau und verringertem Platzbedarf günstige
35 Betriebsspannungen aufweisen.

Figuren 6A bis 6G zeigen vereinfachte Schnittansichten zur Veranschaulichung wesentlicher Verfahrensschritte bei der Herstellung des erfindungsgemäßen SSI-Split-Gate-Speicherelements, wobei gleiche Bezugszeichen wiederum gleiche oder entsprechende Schichten bzw. Elemente wie in Figur 5 bezeichnen und auf eine wiederholte Beschreibung nachfolgend verzichtet wird.

Gemäß Figur 6A wird zunächst ein Halbleitersubstrat 1 vorbereitet, wobei beispielsweise aktive Gebiete mittels Grabenisolierungen definiert werden oder entsprechende Wannendotierungen vorgenommen werden. An der Oberfläche des Halbleitersubstrats 1 wird anschließend eine erste Isolierschicht 2A als Gatedielektrikum für das Speicherelement ausgebildet, wobei im Falle eines Silizium-Halbleitersubstrats vorzugsweise eine Siliziumdioxidschicht als Gateoxidschicht verwendet wird. Selbstverständlich können auch andere Halbleitermaterialien und andere Gatedielektrika für das Halbleitersubstrat 1 und die erste Isolierschicht 2A verwendet werden.

Anschließend wird beispielsweise mittels eines Abscheideverfahrens eine elektrisch leitende Steuerschicht 5 an der Oberfläche der ersten Isolierschicht 2A ausgebildet und derart strukturiert, dass sich die in Figur 6A dargestellte Schnittansicht ergibt. Vorzugsweise wird als Steuerschicht 5 eine hochdotierte Polysiliziumschicht abgeschieden und mittels eines fotolithographischen Verfahrens zum Ausbilden eines sogenannten Gates strukturiert.

Gemäß Figur 6B kann in einem nachfolgenden Schritt oder gleichzeitig mit der Strukturierung der Steuerschicht 5 auch die erste Isolierschicht 2A strukturiert werden, wodurch lediglich unterhalb der Steuerschicht 5 die erste Isolierschicht 2A als Gatedielektrikum verbleibt. Diese Strukturierung kann jedoch auch entfallen.

Anschließend wird eine Schichtenfolge bestehend aus einer zweiten Isolierschicht 2B, einer Ladungsspeicherschicht 3 und einer dritten Isolierschicht 4 an der Oberfläche des Halbleitersubstrats 1 bzw. an der Oberfläche der ersten Isolierschicht 2A und der strukturierten Steuerschicht 5 ausgebildet, wobei vorzugsweise eine ONO-Schichtenfolgen (Oxid/Nitrid/Oxid) ganzflächig abgeschieden wird und die Siliziumnitridschicht als Ladungsspeicherschicht 3 verwendet wird. Alternativ kann als Ladungsspeicherschicht 3 auch eine andere elektrisch isolierende Ladungsspeicherschicht wie z.B. ZrO_2 oder auch eine elektrisch leitende Ladungsspeicherschicht abgeschieden werden. Insbesondere bei Rückätzung der ersten Isolierschicht 2A und Ausbilden der dargestellten ONO-Schichtenfolge erhält man jedoch eine besonders günstige Schichtenfolge, die eine hohe Integrationsdichte bei einfachem Verfahrensablauf ermöglicht.

Gemäß Figur 6C wird in einem nachfolgenden Verfahrensschritt eine Programmierschicht zunächst ganzflächig abgeschieden und derart strukturiert, dass sich an den Seitenwänden der strukturierten Steuerschicht 5 bzw. der entsprechenden ONO-Schichtenfolge drainseitig und sourceseitig Programmierschichten 6A und 6B ergeben. Vorzugsweise wird hierbei ein sogenanntes Spacer-Verfahren zum Ausbilden der Programmierschichten 6A und 6B verwendet, wobei zunächst beispielsweise eine zweite Polysiliziumschicht als Programmierschicht konformal, d.h. gleich dick, abgeschieden wird und anschließend ein anisotropes Rückätzen erfolgt, wodurch die Programmierschichten 6A und 6B in Form von Spacern an den Seitenwänden der Steuerschicht 5 ausgebildet werden.

Unter Verwendung dieser strukturierten Programmierschichten bzw. Spacer 6A und 6B sowie der strukturierten Steuerschicht 5 mit darüber liegender Schichtenfolge aus zweiter Isolierschicht 2B, Ladungsspeicherschicht 3 und dritter Isolierschicht 4 werden anschließend Sourcegebiete S und Draingebiete D selbstjustierend im Halbleitersubstrat 1 ausgebildet.

Beispielsweise wird hierbei eine Ionenimplantation durchgeführt, wobei zum Ausdiffundieren und Aktivieren der jeweiligen Source- und Draingebiete eine thermische Nachbehandlung durchgeführt werden kann. Zum Rekonstruieren eines eventuell
5 gestörten Kristallgitters kann hierbei auch ein Ausheilverfahren durchgeführt werden.

Gemäß Figur 6D wird in einem nachfolgenden Verfahrensschritt die Schichtenfolge bestehend aus der dritten Isolierschicht
10 4, der Ladungsspeicherschicht 3 und der zweiten Isolierschicht 2B unter Verwendung der Spacer bzw. strukturierten Programmierschichten 6A und 6B derart strukturiert, dass sowohl die Steuerschicht 5 als auch das Halbleitersubstrat 1 bzw. die Source- und Draingebiete S und D freigelegt werden.
15 Vorzugsweise wird für dieses Freilegen der Source- und Draingebiete ein sogenanntes ONO-Trockenätzverfahren durchgeführt.

Auf diese Weise erhält man eine drainseitige und sourceseitige Schichtenfolge bestehend aus einer drainseitigen und sourceseitigen zweiten Isolierschicht 2BA und 2BB, einer drainseitigen und sourceseitigen Ladungsspeicherschicht 3A und 3B sowie einer drainseitigen und sourceseitigen dritten Isolierschicht 4A und 4B.

Optional kann zu diesem Zeitpunkt ein weiteres Rückätzen von
25 zumindest der drainseitigen und sourceseitigen Ladungsspeicherschicht 3A und 3B zum Ausbilden von zumindest oberflächennahen Aussparungen unterhalb der strukturierten Programmierschichten 6A und 6B erfolgen, wodurch sich insbesondere
30 die Isolationseigenschaften bzw. Leckstromeigenschaften wesentlich verbessern lassen. Vorzugsweise wird hierbei ein Nitrid-Ätzverfahren verwendet.

Gemäß Figur 6E wird in einem nachfolgenden Verfahrensschritt
35 eine vierte Isolierschicht 7 an der Oberfläche des Halbleitersubstrats 1 sowie der strukturierten Programmierschichten 6A und 6B und der strukturierten Steuerschicht 5 ausgebildet,

wobei auch die in dem optional durchgeführten Rückätzschritt erzeugten Rückätzungen bzw. Aussparungen in zumindest der Ladungsspeicherschicht aufgefüllt werden. Zum Auffüllen der durch beispielsweise ein isotropes Rückätzverfahren optional ausgebildeten Ladungsspeicherschicht-Aussparungen wird beispielsweise eine CVD-Oxid-Abscheidung durchgeführt.

Gemäß Figur 6F erfolgt in einem nachfolgenden Verfahrensschritt ein Freilegen des Sourcegebiets S und des Draingebiets D, wobei zumindest auch Teile der strukturierten drainseitigen und sourceseitigen Programmierschicht 6A und 6B zum Ausbilden von Verbindungsbereichen freigelegt werden. Vorzugsweise wird hierbei ein fotolithographisches Verfahren zum Ausbilden von Kontaktöffnungen bzw. -löchern mit anschließendem anisotropen Trockenätzen durchgeführt.

Gemäß Figur 6G wird anschließend eine elektrisch leitende Verbindungsschicht in den freigelegten Verbindungsbereichen, wie z.B. Kontaktöffnungen, zum Kontaktieren der drainseitigen Programmierschicht 6A und des Draingebiets D sowie der sourceseitigen Programmierschicht 6B und des Sourcegebiets S ausgebildet. Vorzugsweise wird hierbei eine dritte Polysiliziumschicht als elektrisch leitende Verbindungsschicht abgeschieden und bis zur vierten Isolierschicht 7 planarisiert, wodurch sich eine drainseitige Verbindungsschicht 6AA und eine sourceseitige Verbindungsschicht 6BB ergibt. Als Planarisierungsverfahren wird beispielsweise ein CMP-Verfahren (Chemical Mechanical Polishing) durchgeführt, welches auf der vierten Isolierschicht 7 stoppt.

Auf diese Weise kann unter Verwendung von Standardverfahren eine SSI-Split-Gate-Speicherzelle mit geringem Flächenbedarf und einfachem Aufbau ausgebildet werden.

Nachfolgend wird wiederum unter Bezugnahme auf die Figur 5 ein Ansteuerverfahren bzw. eine Betriebsweise des erfindungsgemäßen Split-Gate-Speicherelements beschrieben, wobei ledig-

lich die Bedingungen zum Einschreiben, Löschen oder Lesen einer Information bzw. eines Zustands in der rechten Halbseite definiert sind und bei Anlegen entsprechender Spannungen auch ein Schreiben, Löschen oder Lesen eines Zustands in der linken Seite des Speicherelements entsprechend durchgeführt werden kann. Auf Grund der Symmetrie des Speicherelements sind hierbei das Sourcegebiet und das Draingebiet äquivalent und entsprechend austauschbar.

- 10 Zum Schreiben einer Information in ein Split-Gate-Speicherelement bzw. zum Programmieren des Speicherelements mittels sourceseitiger Ladungsträgerinjektion (SSI, Source Side Injection) muss das Potential an der Sourceleitung SL bzw. dem Sourcegebiet S und der sourceseitigen Programmierschicht 6B
15 positiv sein, um den Zustand auf der rechten Seite des Speicherelements programmieren zu können. Genauer gesagt wird demzufolge eine erste positive Schreibspannung an die sourceseitige Verbindungsschicht 6BB angelegt, wobei beispielsweise eine erste Schreibspannung von $V_{SL} = 2 \text{ V}$ angelegt wird. Die
20 drainseitige Spannung bzw. die Spannung an der drainseitigen Programmierschicht 6A und dem Draingebiet D muss gegenüber der ersten positiven Schreibspannung bzw. der Spannung am Sourcegebiet S und sourceseitigen Programmierschicht 6B wesentlich höher sein und beispielsweise eine Spannung von V_{PG}
25 $= 6 \text{ V}$ als zweite Schreibspannung aufweisen. An die Steuerschicht 5 muss nunmehr zum Erzeugen der vorstehend beschriebenen SSI-Bedingung (Source Side Injection) eine gegenüber der effektiven Schwellwertspannung eines jeweiligen inneren Transistors leicht höhere dritte positive Schreibspannung angelegt werden, wobei beispielsweise eine Spannung von $V_{CG} =$
30 $1,5 \text{ V}$ ausreicht, wenn die Schwellwertspannung V_T eines „inneren“ Transistors des Speicherelements gleich 1 V aufweist.

- Auf diese Weise kann trotz unmittelbarer Kontaktierung der
35 Programmierschichten mit den jeweiligen Source- und Draingebieten eine sourceseitige Ladungsträgerinjektion in der

drainseitigen Ladungsspeicherschicht 3A durchgeführt werden, wobei die Betriebsspannungen entsprechend gering sind.

5 Zum Löschen einer Information - wiederum in der rechten Halb-
seite des erfindungsgemäßen Split-Gate-Speicherelements -
wird demgegenüber an die sourceseitige Verbindungsschicht 6BB
ein schwebendes Potential (floating potential) angelegt, wäh-
rend an die drainseitige Verbindungsschicht 6AA eine hohe
erste Löschspannung von beispielsweise $V_{PG} = 8 \text{ V}$ angelegt
10 wird, wodurch mittels eines Lawineneffekts drainseitig heiße
Löcher in der Raumladungszone des Draingebiets erzeugt und in
die drainseitige Ladungsspeicherschicht 3A eingebracht wer-
den. Zur Verbesserung eines Löschvorgangs kann an die Steuer-
schicht 5 eine gegenüber der Schwellwertspannung eines jewei-
15 ligen „inneren“ Transistors niedrigere zweite Löschspannung
angelegt werden, wobei vorzugsweise eine negative Spannung
verwendet wird.

Zum Lesen einer Information in einer rechten Halbseite des
20 Split-Gate-Speicherelements wird an die sourceseitige Verbin-
dungsschicht 6BB eine erste positive Lesespannung von bei-
spielsweise $V_{SL} = 3 \text{ V}$ angelegt, während an die drainseitige
Verbindungsschicht 6AA eine gegenüber der ersten Lesespannung
ausreichend kleinere zweite Lesespannung angelegt wird, die
25 z.B. $V_{PG} = 0 \text{ V}$ beträgt. Zum Erzeugen einer vorzugsweise rück-
wärts gerichteten Auslese-Bedingung wird an die Steuerschicht
5 eine im Bereich der ersten Lesespannung dritte Lesespan-
nung von beispielsweise $V_{CG} = 2 \text{ bis } 5 \text{ V}$ angelegt. Hinsicht-
lich der rückwärts gerichteten Auslesebedingung sei darauf
30 hingewiesen, dass Source und Drain vertauscht sind, wobei die
nunmehr sourceseitig, d.h. in Figur 5 drainseitig, eingefan-
gene Ladung einen größeren Einfluss auf den Lesestrom auf-
weist als die drainseitig, d.h. in Figur 5 sourceseitig, ein-
gefangene Ladung. Diese Ladung wird zwar durch die positive
35 Drainspannung erfasst, hat jedoch einen unwesentlichen Ein-
fluss auf den resultierenden Lesestrom, weshalb auch bei der
kurzgeschlossenen Verbindungsschicht mit den Sourcegebieten

und Draingebieten ein ausreichend genaues Auslesen von Zuständen in dem erfindungsgemäßen Speicherelement möglich ist. Genauer gesagt wird einerseits bei negativ geladener Ladungsspeicherschicht 3A bzw. 3B ein zugehöriger Kanalabschnitt verarmt (depleted) und somit hochohmig, wodurch sich ein ver-
5 ringter Lesestrom ergibt. Andererseits wird bei positiv geladener Ladungsspeicherschicht (Löcher) ein zugehöriger Kanalabschnitt niederohmig, wodurch sich ein erhöhter Lesestrom ergibt.

10

Die Erfindung wurde vorstehend anhand eines Dual-Bit Split-Gate-Speicherelements zum Abspeichern von zwei Zuständen beschrieben. Sie ist jedoch nicht darauf beschränkt und kann in gleicher Weise auch nichtflüchtige Halbleiterspeicherelemente
15 mit lediglich einem Speicherzustand aufweisen. Ferner wurden als Materialien für die elektrisch leitenden Schichten dotierte Polysiliziumschichten beschrieben, wobei jedoch auch alternative Materialien und insbesondere metallische Materialien verwendet werden können. In gleicher Weise können auch
20 alternative Materialien für die Isolierschichten sowie für das Halbleitersubstrat verwendet werden.

Patentansprüche

1. Nichtflüchtiges Halbleiterspeicherelement mit einem Halbleitersubstrat (1), in dem ein Sourcegebiet (S),
5 ein Draingebiet (D) und ein dazwischen liegendes Kanalgebiet ausgebildet sind;
einer Steuerschicht (5), die auf einem ersten Teilabschnitt (I) des Kanalgebiets ausgebildet und von diesem durch eine erste Isolierschicht (2A) isoliert ist;
10 einer Ladungsspeicherschicht (3A, 3B), die auf einem zweiten Teilabschnitt (IIA, IIB) des Kanalgebiets ausgebildet und von diesem durch eine zweite Isolierschicht (2BA, 2BB) isoliert ist; und
einer Programmierschicht (6A, 6B), die an der Ladungsspeicherschicht (3A, 3B) ausgebildet und von dieser durch eine
15 dritte Isolierschicht (4A, 4B) isoliert ist,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h
eine Verbindungsschicht (6AA, 6BB) zum elektrischen Verbinden der Programmierschicht (6A, 6B) mit dem Sourcegebiet (S) oder
20 Draingebiet (D).

2. Nichtflüchtiges Halbleiterspeicherelement nach Patentanspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der zweite
25 Teilabschnitt des Kanalgebiets einen sourceseitigen Teilabschnitt (IIB) und einen drainseitigen Teilabschnitt (IIA) aufweist;
die Ladungsspeicherschicht eine sourceseitige Ladungsspeicherschicht (3B) und eine drainseitige Ladungsspeicherschicht
30 (3A);
die Programmierschicht eine sourceseitige Programmierschicht (6B) und eine drainseitige Programmierschicht (6A) aufweist;
die Verbindungsschicht eine sourceseitige Verbindungsschicht (6BB) und eine drainseitige Verbindungsschicht (6AA) auf-
35 weist, wobei die sourceseitige Verbindungsschicht (6BB) die sourceseitige Programmierschicht (6B) mit dem Sourcegebiet (S) und die drainseitige Verbindungsschicht (6AA) die drain-

seitige Programmierschicht (6A) mit dem Draingebiet (D) elektrisch verbindet.

3. Nichtflüchtiges Halbleiterspeicherelement nach Patentanspruch 1 oder 2,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Ladungsspeicherschicht (3A, 3B) eine elektrisch nicht leitende Schicht darstellt.

10 4. Nichtflüchtiges Halbleiterspeicherelement nach einem der Patentansprüche 1 bis 3,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die erste und zweite Isolierschicht (2A, 2BA, 2BB) SiO_2 aufweist.

15 5. Nichtflüchtiges Halbleiterspeicherelement nach einem der Patentansprüche 1 bis 4,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Ladungsspeicherschicht (3A, 3B) eine Si_3N_4 -, HfO_2 oder ZrO_2 -Schicht aufweist.

20

6. Nichtflüchtiges Halbleiterspeicherelement nach einem der Patentansprüche 1 bis 5,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Steuerschicht (5), die Programmierschicht (6A, 6B) und die Verbindungsschicht (6AA, 6BB) dotiertes Polysilizium aufweist.

7. Verfahren zur Herstellung eines nichtflüchtigen Halbleiterspeicherelements mit den Schritten:

a) Vorbereiten eines Halbleitersubstrats (1);

30 b) Ausbilden einer ersten Isolierschicht (2A) an der Oberfläche des Halbleitersubstrats (1);

c) Ausbilden und Strukturieren einer Steuerschicht (5) an der Oberfläche der ersten Isolierschicht (2A);

35 d) Ausbilden einer Schichtenfolge bestehend aus einer zweiten Isolierschicht (2B), einer Ladungsspeicherschicht (3) und einer dritten Isolierschicht (4) an der Oberfläche des Halbleitersubstrats (1) und der strukturierten Steuerschicht (5);

- e) Ausbilden und Strukturieren einer Programmierschicht (6A, 6B) auf der dritten Isolierschicht (4) an den Seitenwänden der strukturierten Steuerschicht (5);
- f) Ausbilden von Sourcegebieten (S) und Draingebieten (D) im Halbleitersubstrat (1) unter Verwendung der strukturierten Programmierschicht (6A, 6B) und der strukturierten Steuerschicht (5) als Maske;
- g) Strukturieren der dritten Isolierschicht (4), der Ladungsspeicherschicht (3) und der zweiten Isolierschicht (2B) unter Verwendung der strukturierten Programmierschicht (6A, 6B) als Maske;
- h) Ausbilden einer vierten Isolierschicht (7) an der Oberfläche des Halbleitersubstrats (1), der strukturierten Programmierschicht (6A, 6B) und der strukturierten Steuerschicht (5);
- i) Freilegen von Verbindungsbereichen zumindest an Teilen der strukturierten Programmierschicht (6A, 6B), des Sourcegebiets (S) und des Draingebiets (D); und
- j) Ausbilden einer elektrisch leitenden Verbindungsschicht (6AA, 6BB) in den freigelegten Verbindungsbereichen zum Kontaktieren der Programmierschicht (6A, 6B) des Sourcegebiets (S) und des Draingebiets (D).
8. Verfahren nach Patentanspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt b) ein Gatedielektrikum als erste Isolierschicht (2A) ausgebildet wird.
9. Verfahren nach Patentanspruch 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt c) eine erste Polysilizium-Schicht als Steuerschicht (5) abgeschieden wird.
10. Verfahren nach einem der Patentansprüche 7 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt d) eine ONO-Schichtenfolge abgeschieden wird.

11. Verfahren nach einem der Patentansprüche 7 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt
e) ein Spacer-Verfahren zum Abscheiden und Strukturieren ei-
ner zweiten Polysilizium-Schicht als Programmierschicht (6A,
5 6B) durchgeführt wird.

12. Verfahren nach einem der Patentansprüche 7 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt
f) eine Ionenimplantation und eine thermische Nachbehandlung
10 zum Ausdiffundieren und Aktivieren der Source- und Drainge-
biete (S, D) durchgeführt wird.

13. Verfahren nach einem der Patentansprüche 7 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt
15 g) ein anisotropes Trockenätzen der Schichtenfolge und ein
isotropes Rückätzen von zumindest der Ladungsspeicherschicht
(3) zum Ausbilden von Ladungsspeicherschicht-Aussparungen
durchgeführt wird.

20 14. Verfahren nach Patentanspruch 13,
dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt
h) eine Oxid-Abscheidung zum Auffüllen der Ladungsspeicher-
schicht-Aussparungen durchgeführt wird.

25 15. Verfahren nach einem der Patentansprüche 7 bis 14,
dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt
j) eine dritte Polysilizium-Schicht als Verbindungsschicht
(6AA, 6BB) abgeschieden und planarisiert wird.

30 16. Verfahren zum Schreiben einer Information in ein nicht-
flüchtiges Halbleiterspeicherelement nach einem der Patentan-
sprüche 2 bis 6 mit den Schritten:

- a) Anlegen einer ersten positiven Schreibspannung an die
sourceseitige Verbindungsschicht (6BB);
- 35 b) Anlegen einer gegenüber der ersten positiven Schreib-
spannung wesentlich höheren zweiten positiven Schreibspannung
an die drainseitige Verbindungsschicht (6AA); und

c) Anlegen einer gegenüber der effektiven Schwellwertspannung eines jeweiligen inneren Transistors leicht höheren dritten positiven Schreibspannung an die Steuerschicht (5), zum Erzeugen einer SSI-Bedingung.

5

17. Verfahren zum Löschen einer Information in einem nicht-flüchtigen Halbleiterspeicherelement nach einem der Patentansprüche 2 bis 6 mit den Schritten:

- a) Anlegen eines schwebenden Potentials an die sourceseitige Verbindungsschicht (6BB);
- 10 b) Anlegen einer hohen ersten Löschspannung an die drainseitige Verbindungsschicht (6AA); und
- c) Anlegen einer gegenüber der effektiven Schwellwertspannung eines jeweiligen inneren Transistors niedrigeren zweiten
- 15 Löschspannung an die Steuerschicht (5), zum Erzeugen einer Lawineneffekt-Bedingung.

18. Verfahren zum Lesen einer Information in einem nicht-flüchtigen Halbleiterspeicherelement nach einem der Patentansprüche 2 bis 6 mit den Schritten:

- a) Anlegen einer ersten positiven Lesespannung an die sourceseitige Verbindungsschicht (6BB);
- b) Anlegen einer gegenüber der ersten Lesespannung ausreichend kleineren zweiten Lesespannung an die drainseitige Verbindungsschicht (6AA); und
- 25 c) Anlegen einer im Bereich der ersten Lesespannung liegenden dritten Lesespannung an die Steuerschicht (5) zum Erzeugen einer rückwärtsgerichteten Auslese-Bedingung.

Zusammenfassung

Nichtflüchtiges Halbleiterspeicherelement sowie zugehöriges Herstellungs- und Ansteuerungsverfahren

5

Die Erfindung betrifft ein nichtflüchtiges Halbleiterspeicherelement sowie ein zugehöriges Herstellungs- und Ansteuerungsverfahren mit einem Halbleitersubstrat (1), in dem ein Sourcegebiet (S), ein Draingebiet (D) und ein dazwischen liegendes Kanalgebiet ausgebildet sind. Auf einem ersten Teilabschnitt (I) des Kanalgebiets ist eine Steuerschicht (5) ausgebildet und vom Kanalgebiet durch eine erste Isolierschicht (2A) isoliert, während in einem zweiten Teilabschnitt (IIA, IIB) des Kanalgebiets jeweilige Ladungsspeicherschichten (3A und 3B) ausgebildet und vom Kanalgebiet durch eine zweite Isolierschicht (2BA und 2BB) isoliert sind. An der Ladungsspeicherschicht (3A, 3B) ist eine Programmierschicht (6A, 6B) ausgebildet und von dieser durch eine dritte Isolierschicht (4A, 4B) isoliert, wobei sie über eine jeweilige Verbindungsschicht (6AA, 6BB) mit einem jeweiligen Sourcegebiet (S) und Draingebiet (D) elektrisch verbunden ist.

Figur 5

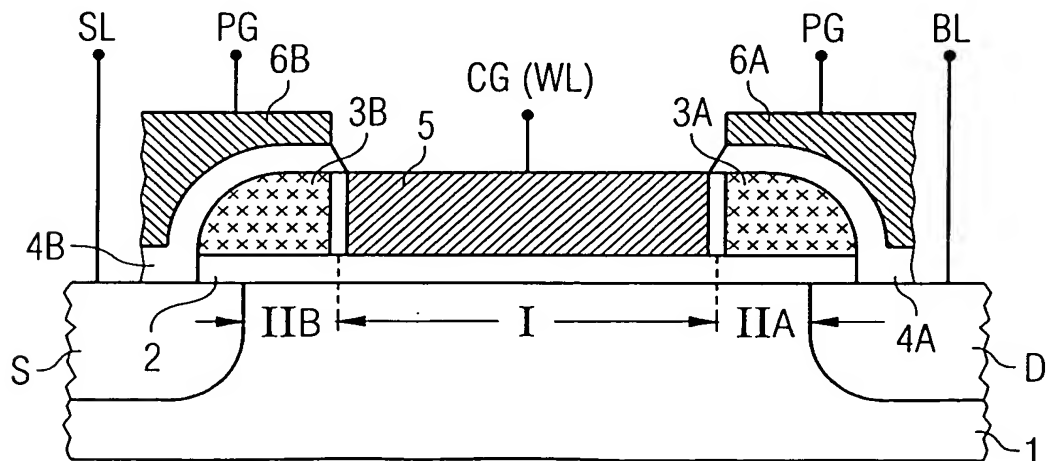
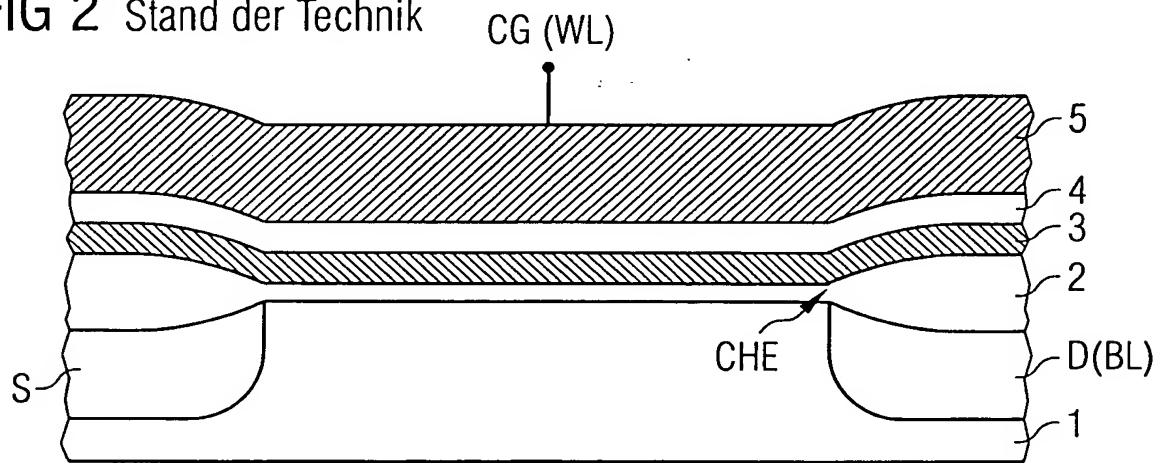
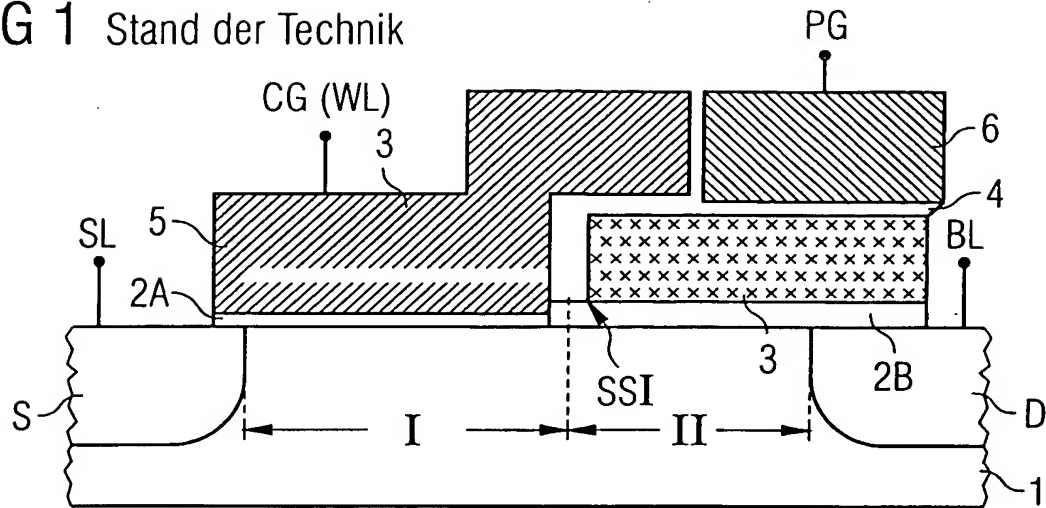


FIG 4 Stand der Technik

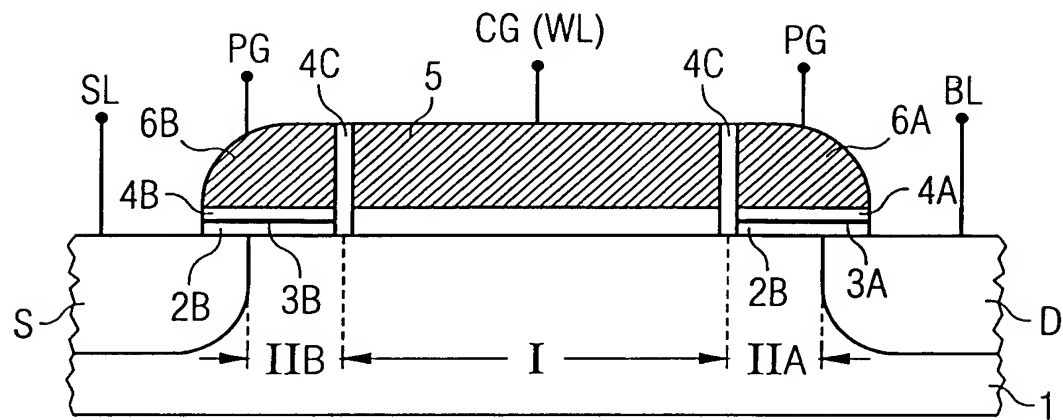


FIG 5

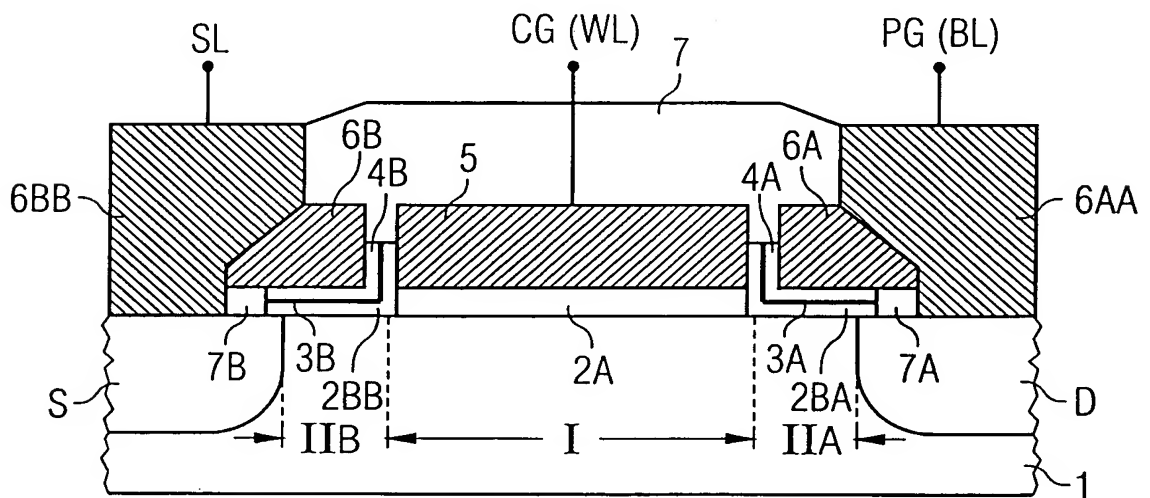


FIG 6A

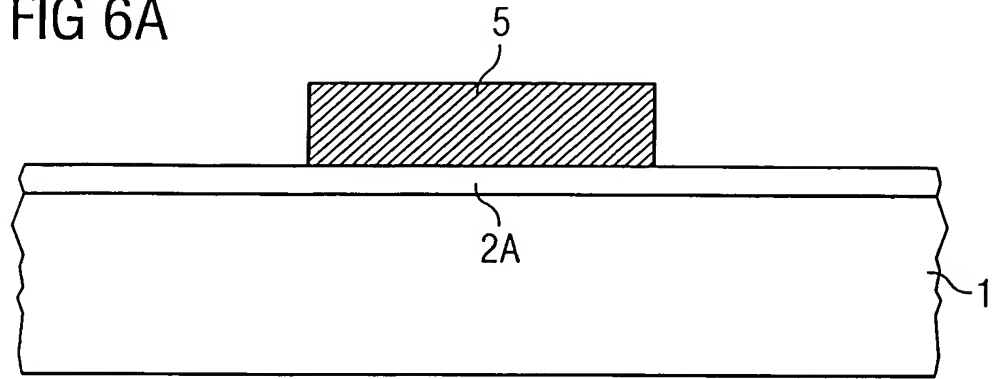


FIG 6B

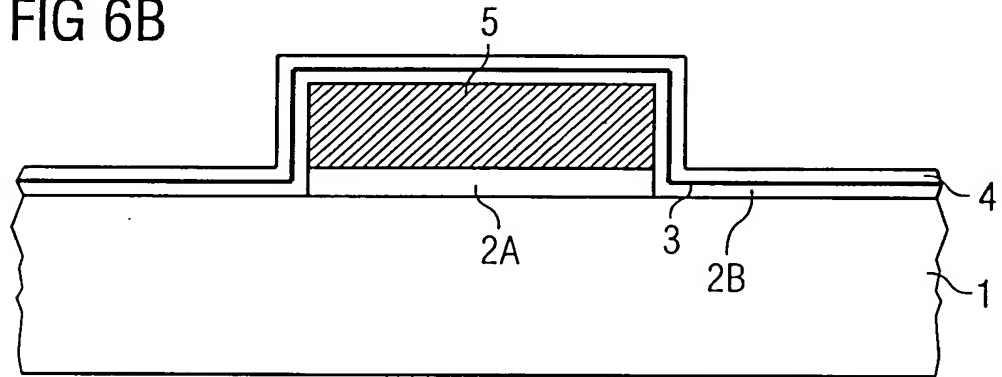
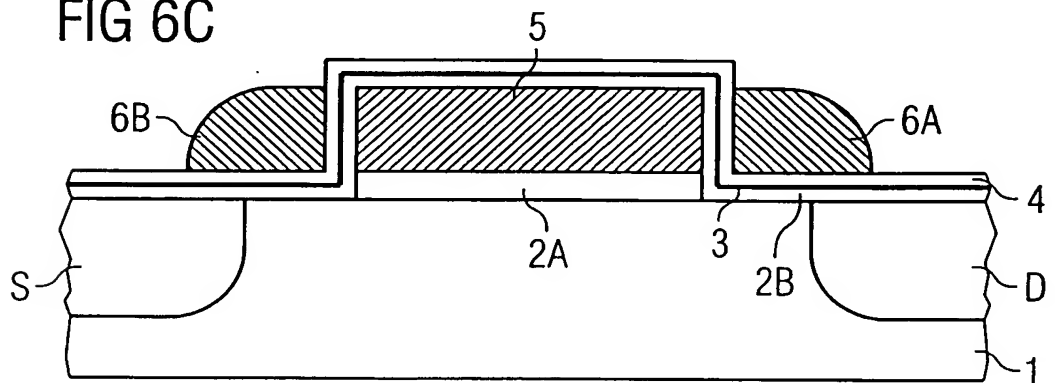


FIG 6C



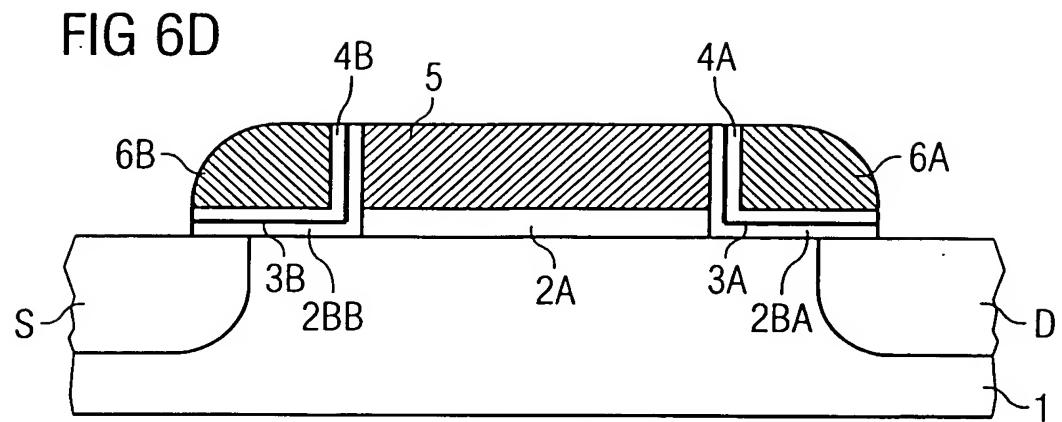


FIG 6E

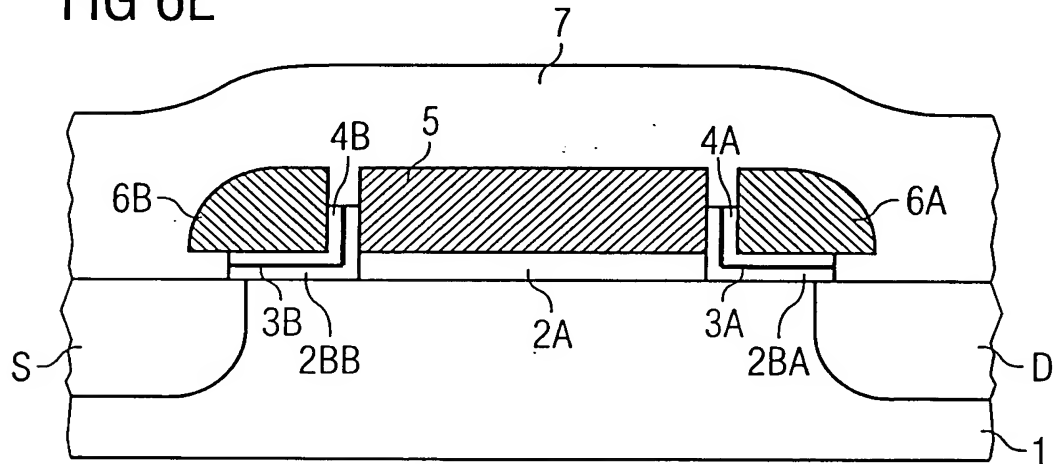


FIG 6F

